

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Návrh vícepásmové krátkovlnné antény
Design of HF antenna

2010

Ladislav Palla

Prohlášení studenta

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě.....

.....

Podpis studenta

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Lubomíru Ivánkovi, CSc. za cenné rady, podporu a odborné vedení při sestavování této práce.

Abstrakt

Anténa je nejdůležitější částí radiokomunikačního zařízení a nelze ji nahradit jiným elektronickým obvodem, proto je potřeba věnovat velkou pozornost jejímu výběru. V pásmu KV dosahují rozměry antén až desítek metrů, z tohoto důvodu je výhodnější používat jednu anténu pro více pásem. Aby bylo spojení kvalitní a činnost celého anténního systému byla funkční, je potřeba navrhnout anténu s vhodnými parametry. Práce je tedy zaměřena na návrh vícepásmové antény. V úvodní části popisují rozdělení antén podle kritérií, v další části pak popisují parametry různých typů vícepásmových antén, ze kterých vychází návrh antény pro pět KV pásem. Poslední kapitola obsahuje výsledné hodnoty navrhovaného systému a postup při návrhu.

Klíčová slova

Vícepásmová anténa, elektromagnetické vlny, šíření vln, ionosféra, přizpůsobovací obvody, laděný napáječ, kmitočtové spektrum, činitel stojatého vlnění, komplexní impedance, radioamatérská pásma, anténní ladící člen, Double Zepp, radiokomunikační řetězec, vyzařovací diagram

Abstract

Antenna is the most important part of radio communication equipment and is impossible to replace it with some other electronic circuit, which is why it is given attention to selection. Antennas' dimensions reach tens of meters in the short wave band, for this reason is preferable to use one antenna for more bands. If the high quality connection was able and the activity of the whole antennas' system was functional it is necessary to propound antenna with the suitable characteristics. Work is aimed at the project of multiband antenna. In preamble I describe the division of the antennas according to criteria, in the next part I describe parameters of assorted types of multiband antennas, which is coming out the project of antenna for five SW bands. Last chapter includes final values of suggested system and procedure of design too.

Key words

Multiband antenna, electromagnetic wave, wave propagation, ionosphere, adapter unit, antenna feeder, frequency spectrum, standing wave ration, complex impedance, radio amateur bands, antenna tuning element, Double Zepp, radio communication chain, pattern

Obsah

1.	Úvod.....	1
1.1.	Vyzařování elektromagnetické vlny	2
1.2.	Rozdělení antén podle kritérií.....	3
1.3.	Obecná charakteristika šíření vln.....	4
1.3.1.	Velmi krátké vlny	4
1.3.2.	Krátké vlny	4
1.3.3.	Střední vlny	6
1.3.4.	Dlouhé a velmi dlouhé vlny	6
1.3.5.	Ionosféra.....	7
1.4.	Radiokomunikační řetězec.....	8
2.	Rešerše literatury z oblasti širokopásmových KV antén.....	10
3.	Vícepásmové krátkovlnné antény	11
3.1.	Rozdělení pásem.....	11
3.2.	Anténa LW (Long-Wire)	12
3.3.	Anténa dvojité Zeppelin (Double Zepp).....	12
3.4.	Anténa G5RV	13
3.5.	Anténa W3DZZ	14
3.6.	Anténa WINDOM	15
3.7.	Čtyřpásmová anténa GP	16
3.8.	Vícepásmová mobilní anténa KV	16
4.	Návrh antény pro pět KV pásem používaných v radioamatérském provozu	17
4.1.	Navrhovaný anténní systém.....	17
4.1.1.	Anténní napáječ	18
4.1.2.	ATU (Antenna Tuning Unit)	19
4.2.	Numerický výpočet konkrétní antény	20
5.	Závěr	24
	Seznam použitých zdrojů	25
	Seznam použitých příloh.....	I

1. Úvod

Anténa je zařízení, které transformuje elektromagnetické vlnění, šířící se podél vedení na elektromagnetické vlnění, šířící se ve volném prostoru a naopak [1]. Podle směru této transformace se antény dělí na vysílací a přijímací. Anténa je vlastně nejdůležitější částí radiokomunikačního zařízení a žádný jiný elektronický obvod ji nemůže nahradit [1]. Rádioový provoz se mezi vysílací a přijímací stranou uskutečňuje pomocí bezdrátového spojení, při kterém dochází k uvedené transformaci. Anténa potřebuje ke správné funkčnosti ještě další prvky, čili kompletní anténní systém je doplněn napáječi, přizpůsobovacími obvody, uzemňovacími systémy, nosnými konstrukčními prvky apod.

V první části mé bakalářské práce popisuji rozdělení antén podle kritérií, druhy vln a charakteristiku jejich šíření. Jsou zde také popsány vlastnosti ionosféry, sloužící pro dálkové spojení v KV pásmu a charakteristika jejích vrstev. Nakonec je popsán princip radiokomunikačního řetězce.

V druhé části je uvedena rešerše literatury z oblasti vícepásmových krátkovlnných antén.

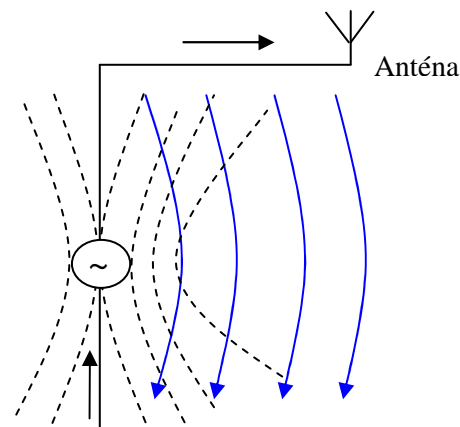
Třetí část popisuje rozdělení radioamatérských pásem a základní typy vícepásmových, převážně horizontálních krátkovlnných antén používaných v radioamatérském provozu. Jsou zde popsány jejich parametry k dosažení maximální efektivity provozu, zahrnující hlavně jejich konstrukci.

Čtvrtá část se zabývá návrhem antény pro pět KV pásem. Vychází z teoretických poznatků sepsaných radioamatéry. Také je zde popsán princip anténního napáječe a přizpůsobovacích obvodů.

1.1. Vyzařování elektromagnetické vlny

Elektromagnetické vlny vyzařuje každý vodič, kterým prochází střídavý elektrický proud. Anténa je právě vodič, který je upraven takovým způsobem, aby vyzařoval maximální množství elektrické energie nebo ji v podobě indukovaných proudů přijímal. Mezi dvěma symetrickými deskami, připojenými k harmonickému zdroji, vzniká elektrické pole, ale i proud, který způsobuje vznik magnetického pole.

Desky mohou mít podobu dvou vodičů, z nichž jeden je v určité výšce nad povrchem a druhý je s ním spojený nebo je umístěn přímo na něm (obrázek 1.1). Takto uspořádaný kondenzátor tvoří otevřený rezonanční obvod, kde se kapacita a indukčnost rovnoměrně rozkládají podél jeho vodičů. Otevřený rezonanční obvod lze považovat za anténu. Účinnou anténou se stává tehdy, pokud je jeho rozměr (délka) srovnatelný s vlnovou délkou, na kterou je obvod vyladěn. Účinnost antény ve tvaru přímého zářiče se zvyšuje, přibližuje-li se jeho délka $\frac{1}{2}$ vlnové délky, odpovídající rezonančnímu kmitočtu tohoto otevřeného rezonančního obvodu [1].



Obr. 1.1: Otevřený obvod se zobrazenou kapacitou a indukčností

1.2. Rozdělení antén podle kritérií

1) Podle použití:

- a) přenosné antény
- b) mobilní antény (použití např. na vozidlech, lodích, letadlech)
- c) stacionární antény (pevně instalované)

2) Podle konstrukce:

- a) drátové
- b) trubkové
- c) plošné nebo prostorové (např. parabolické antény)

3) Podle vyzařovací charakteristiky:

- a) všesměrové
- b) směrové

Hlavní elektrické parametry antén:

- rezonanční kmitočet a šířka pásma (f_{rez})
- zisk antény (G)
- vstupní impedance (Z)
- vyzařovací odpor antény (R)
- činitel stojatých vln (ČSV)

ke směrovým anténám patří navíc tyto parametry:

- předozadní poměr (ČZZP/ČZP – činitel zpětného záření/příjmu) [1]
- šířka hlavního svazku (úhel záření/příjmu) v horizontální a vertikální rovině [1]

1.3. Obecná charakteristika šíření vln

1.3.1. Velmi krátké vlny

Do pásma velmi krátkých vln zařazujeme vlny kratší než 10 m. Velmi krátké vlny se nešíří jako vlny prostorové. Výjimku tvoří velmi malý úsek pásma při intenzivní sluneční činnosti, kdy se vlny mohou odrážet od ionosféry. V pásmu velmi krátkých vln se poměrně málo projevuje ohyb, proto se doporučuje udržet mezi vysílací a přijímací stranou viditelný kontakt. Přerušení přímé viditelnosti vede k prudkému poklesu intenzity elektrického pole. Tudíž je potřeba, aby anténa vysílače byla umístěna co nejvýše, čímž se zaručuje viditelnost z mnoha míst.

V pásmu velmi krátkých vln se pro příjem elektromagnetického vlnění využívá přímá vlna. Přímá vlna se v terénu odráží od každé překážky. Rozhodující je poměr velikosti překážky k vlnové délce. Je-li překážka menších rozměrů, může nastat situace, kdy se vlna neodrazí a vznikne pouze ohyb. I když budeme v blízkosti vysílače, kvůli překážce může být velmi špatný příjem. Dosah vysílače závisí na jeho výkonu a na výšce antény nad povrchem.

Výhody pásma vkv:

- Šíří se přímočaře a vlny se málo ohýbají kolem Země (výhoda pro radiolokace)
- Dobře se odrážejí od předmětů a lépe pronikají prostorem
- Nepatrné poruchy způsobené průmyslovou sítí
- Možnost konstruovat generátory výhodné jak v rozměrech, tak i v účinnosti
- Rozměry antén mohou být menší

1.3.2. Krátké vlny

Do pásma krátkých vln patří vlny od 10 m do 100 m, to odpovídá kmitočtům od 3 MHz do 30 MHz. V pásmu krátkých vln se pro komunikaci mezi anténami využívá přízemní a prostorové vlny.

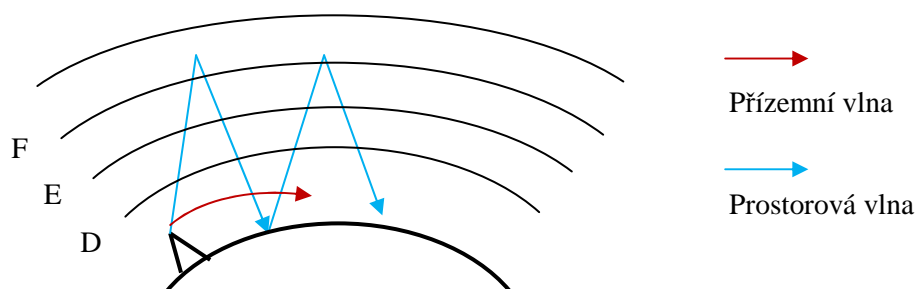
Přízemní vlna se šíří v těsné blízkosti nad zemí a může se ohýbat. Její intenzita je závislá na elektrických vlastnostech půdy, protože energie bývá pohlcována povrchem země.

Naproti tomu prostorová vlna, je anténou vyzářena pod úhlem, zajišťujícím odraz od některé z ionosférických vrstev zpět k zemi. To, zda vlna ionosférou projde, odrazí se nebo se utlumí, závisí na:

- frekvenci vlny
- úhlu dopadu
- momentálním stavu ionosféry

Přestože se prostorová vlna několikrát odrazí, neztrácí na své intenzitě a je tedy vhodná pro příjem vzdálených stanic. Vzhledem k denním proměnnám v ionosféře je pro příjem vysílače z daného směru vhodná pouze určitá denní, popřípadě noční doba. Šíření přízemní a prostorové vlny je zobrazeno na obrázku 1.2.

Čím je frekvence vlny vyšší, tím se vlna méně ohýbá a snadněji projde ionosférou. Vyzařovací úhel antény je dán konstrukcí a nastavením antény. Pomocí odrazů od různých vrstev ionosféry může vlna oběhnout celou Zemi a vrátit se do stejného místa. Tímto může vzniknout ozvěna, způsobená intenzitou navracené vlny, což citelně zhorší přijímaný signál. S tímto je nutno počítat zejména při použití směrových antén. Při dálkovém spojení se většinou udává způsob směřování antén.



Obr. 1.2: Šíření přízemní a prostorové vlny

1.3.3. Střední vlny

Pásmo středních vln se používá především pro přenos rozhlasového vysílání. Kmitočtový rozsah je přibližně od 300 – 3000 kHz a délka vlny dosahuje od 100 – 1000 m. Většina stanic používá frekvence v rozsahu přibližně od 520 – 1605 kHz, což odpovídá vlnovým délkám od 185 – 575 m. Pro přenos zvukového signálu se používá amplitudová modulace [8]. Odstup sousedních frekvencí je v Evropě 9 kHz. Podobně jako krátké vlny se mohou i střední vlny šířit odrazem od ionosféry. Střední vlny se lépe ohýbají za překážkami. Jsou vhodné pro vysílání v okruhu stovek, nejvýše několik málo tisíc kilometrů. Oproti velmi krátkým vlnám mají tedy vyšší dosah, takže pro pokrytí stejného území nám postačí nižší počet vysílačů.

Ve večerních a nočních hodinách se uplatňuje prostorová vlna. Ta je během dne sice silně tlumena, ale přes noc je hlavním nositelem signálu. Druhá strana však bývá rušena praskotem, který způsobuje vliv atmosférické elektřiny. Středovlnné pásmo je sice méně citlivé k atmosférickým poruchám a k rušení průmyslovými zdroji, avšak pro vzdálené stanice je potřeba mít dobrou anténu, která zajistí přijatelný příjem. Pásmo středních vln je využíváno například v letectví, námořnictví, rozhlasu apod.

1.3.4. Dlouhé a velmi dlouhé vlny

Kmitočtový rozsah dlouhých vln je přibližně od 30 – 300 kHz a vlny dosahují délky od 1 000 – 10 000 metrů. Rozhlasové stanice využívají rozsahu od 150 – 285 kHz, což odpovídá délce vlny od 1 050 – 2 000 m. Mezi vysílací a přijímací stranou se na přenosu signálu podílí jak vlna přízemní, tak i vlna prostorová.

Dlouhé vlny se používají pro příjem a vysílání na velké vzdálenosti a k pokrytí rozsáhlých území radiovým signálem. Za těchto podmínek lze vliv přízemní vlny zanedbat, i když podmínky pro ohyb rádiových vln kolem zemské koule v tomto kmitočtovém pásmu jsou příznivé. Intenzita prostorové vlny totiž přesahuje intenzitu přízemní vlny již v malé vzdálenosti od vysílače.

V případě dlouhých vln se vlny prostorové šíří odrazem od dolní hranice vrstvy D (ve dne) nebo vrstvy E (v noci) [3]. Tyto vrstvy jsou znázorněny na obrázku 1.2.

Dosah dlouhovlnných spojů závisí především na výkonu vysílače, proto se na tomto pásmu upouští od vysílání rozhlasu. Dlouhé vlny se využívají například u námořnictva, letectva.

Velmi dlouhé vlny spadají do rozsahu od 3 – 30 kHz a délka vlny bývá od 10 000 – 100 000 m. Pásmo velmi dlouhých vln a stejně tak i pásmo dlouhých vln má lepší dosah spíše nad hladinou, než nad pevninou a i využití je stejné. Velmi dlouhé vlny se tedy také používají k pokrytí rozsáhlých území radiovým signálem.

Přízemní vlna dosahuje vzdálenosti až 2 000 km a je značně tlumena zemí. Pro šíření na kratší vzdálenost se vlny ohýbají podél zemského povrchu. Vzdálenost je ovlivněna hlavně členitostí terénu.

Prostorová vlna má v nočních hodinách ve vzdálenosti několika stovek km od vysílače větší intenzitu než vlna přízemní, avšak během dne bývá tlumena vlivem ionosféry. Obě složky mohou způsobovat krátkodobé (několik sekund) a dlouhodobé (až desítky minut) úniky. K postupnému ustálení tohoto jevu dochází na přelomu dne a noci. V praxi se to projevuje zvýšením intenzity příjmu.

1.3.5. Ionosféra

Ionosféra je ionizovaná část atmosféry, vyznačující se významnou elektrickou vodivostí v důsledku volných elektronů a iontů. Má velký význam pro šíření radiových vln, jelikož se od ní mohou odrážet a tudíž dosáhnout větší vzdálenosti. Ionosféra se dělí na vrstvy D, E, F, kde každá vrstva představuje pro rádiové vlny útlum, ohyb nebo odraz. To závisí na frekvenci vlny, úhlu dopadu a momentálním stavu ionosféry. Ionosféra se vytváří a zaniká účinkem slunečního záření.

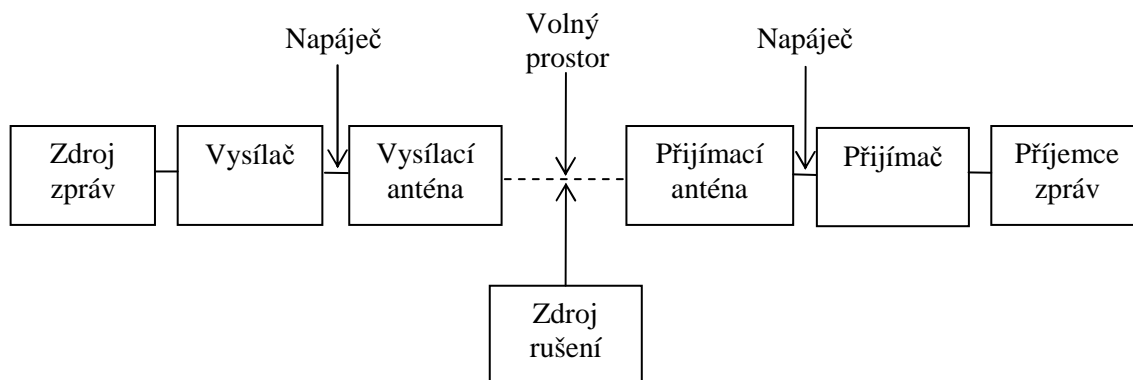
Vrstva D se vyskytuje ve výškách od 50 – 100 km nad povrchem. Vzniká přes den, kdy je Země vystavena plnému účinku ionizujících ultrafialových slunečních paprsků. Svého maxima nabývá v poledne. Dobře odráží dlouhé vlny, krátké vlny láme a značně tlumí [2].

Vrstva E se nachází ve výšce 90 – 150 km. Kratší vlny vrstvou snadno proniknou. Tato vrstva je spíše denní vrstvou, v noci její účinek slábne.

Vrstva F se vyskytuje ve výšce 180 – 400 km i výše. Má velký význam v šíření krátkých vln, zejména v noci, kdy se může dosáhnout velkých vzdáleností, proto je tahle vrstva nejdůležitější pro radioamatéry. Její charakteristické hodnoty, jako je výška a kritický kmitočet, závisí na denní a roční době. Vrstva F je přes den rozdělena na dvě části F1 a F2. Vrstva F1 je ve výšce 180 až 200 km a její vzdálenost od povrchu je téměř stejná. Zatímco vrstva F2 mění svou vzdálenost od země v závislosti na zeměpisné šířce a ročním období [2].

1.4. Radiokomunikační řetězec

Pro radiový přenos je třeba realizovat radiokomunikační řetězec, který uskuteční spojení mezi dvěma či více místy. Obecné schéma sdělovací soustavy je na obrázku 1.3. Začíná zdrojem zpráv, kterým může být člověk, ale i nějaké zařízení. Následuje vysílač, ze kterého je energie posílána přes napáječ do vysílací antény a odtud postupně vyzařována do volného prostoru, kde se šíří prostřednictvím elektromagnetických vln. Při přenosu působí na přenášený signál rušivé procesy, které signál pozměňují. Tyto vlny jsou zachyceny přijímací anténou a přivedeny přes napáječ na vstup přijímače. Přijatý signál je zpracován a poslán příjemci zpráv.



Obr. 1.3: Radiokomunikační řetězec

Výkon na výstupních svorkách vysílače je rozdílný s výkonem na vstupních svorkách přijímače. Je to dáno útlumem, působícím např. na napájecím vedení antény, přechodu vedení – anténa apod. Velkou roli hraje i impedanční přizpůsobení antény a vysílače, kde může dojít k odrazu části energie zpět. Na účinnost přenosu má mimo jiné vliv:

- délka spoje
- prostředí mezi anténami
- ztráty ve vodivých materiálech a dielektriku antén
- směrová a vyzařovací charakteristika
- pomalé úniky a rychlé úniky (způsobeno lidmi, terénem)

Ve vzdálenějších místech od antény je úbytek hustoty energie úměrný druhé mocnině vzdálenosti a klesá i napětí na přijímací anténě a svorkách přijímače.

Komunikační řetězec mezi anténami je ovlivněn:

- frekvencí vlny
- stavem ionosféry
- vzdáleností a výškou antén
- zdrojem šumu
- druhem spojení
- druhem překážek
- polarizací antén
- elektrickými vlastnostmi prostředí

Druhy spojení:

- země – země
- země – kosmos (jen vysoké frekvence)
- kosmos – země (signály z družic)
- kosmos – kosmos
- země – kosmos – země (televizní satelitní vysílání)

2. Rešerše literatury z oblasti širokopásmových KV antén

Velké díky je třeba dát radioamatérům, kteří se zabývají touto problematikou, jelikož literatura z oblasti širokopásmových KV antén je hlavně ovlivněna radioamatérským provozem, probíhajícím právě v pásmu krátkých vln. Radioamatéři tak nejvíce přispívají k rozvoji této problematiky svými praktickými zkušenostmi. Je to také dáno tím, že pro profesionální služby odpadá potřeba konstruovat vícepásmové antény, protože využívají jen určité kmitočtové segmenty, kdežto radioamatérská služba má přidělen rozsah od 1,8 MHz do 29,7 MHz.

Potřebnými informacemi k realizaci antén se nezabývá mnoho publikací. Velice cenné poznatky přinášejí radioamatérské časopisy, do kterých přispívají radioamatéři svými praktickými zkušenostmi a pokusy. Mezi nejzajímavější časopisy vydávané v České republice patří Amatérské rádio a časopis Radioamatér, který sdílí některé informace vyskytující se v časopise i na svých internetových stránkách. Dalším zajímavým časopisem může být časopis Radiožurnál vydávaný na Slovensku.

Časopisy Radioamatér a Radiožurnál obsahují rubriku, ve které se pravidelně věnují problematice KV antén, zejména jejich konstrukci a zkušenostmi s provozem. Jelikož jsem při návrhu antény vycházel z principu antény typu Zeppelin, využil jsem časopisu Radiožurnál, který ve svých vydáních (3/98, 2/00, 4/00) obsahuje články o anténách Zeppelin a G5RV. Pořád ale chybí podrobnější informace ke konstrukci jednotlivých antén.

Mezi literaturu zabývající se problematikou KV antén je třeba také zařadit čtyřdílnou publikaci Amatérská radiotechnika a elektronika od Dr. Ing. J. Daneše vydanou v roce 1984 a také například knihu Antény prakticky (2. české vydání) od J. Matuszczyka přeloženou M. Michalkem. Tyto knihy obsahují sice velké množství různých typů antén, jejich konkrétní rozměry, ale stále chybí podrobnější odvození uváděných výsledků.

Mezi publikace zabývající se problematikou antén podrobněji, bych zařadil knihu Šíření elektromagnetických vln a antény z roku 1980, kterou sepsali J. Prokop a J. Vokurka a knihu Amatérské krátkovlnné antény z roku 1972 od I. Ikrényiho. Obě tyto publikace jsou vhodné pro pochopení problematiky šíření vln v KV pásmu a seznámení s parametry antén.

3. Vícepásmové krátkovlnné antény

Při návrhu antény je nejdříve nutné zvážit několik aspektů, tzn. například rozsah pracovních kmitočtů, směrové vlastnosti, konstrukce, místní podmínky, způsob šíření vln. U krátkovlnných antén se pro dálkový spoj využívá prostorové vlny, která se odráží od ionosférické vrstvy začínající ve výšce okolo 100 km. Pro dálkový provoz musí být vř energie vyzařována pod nízkými elevačními úhly. To zajistí zavěšení horizontální antény v určité výšce nad zemí nebo dobrý zemnicí systém pro vertikální anténu.

Samozřejmě nejlepších výsledků dosáhneme s individuálními anténami pro každé pásmo. Kvůli prostorovému omezení se konstruuji kompromisní anténní systémy, které jsou schopné pracovat na více pásmech.

Existuje několik typů krátkovlnných antén používaných v radioamatérském provozu. V následující kapitole budou popsány hlavní principy základních typů antén.

3.1. Rozdělení pásem

Kmitočtové spektrum je rozděleno na segmenty z důvodu vzájemného rušení mezi uživateli radiových služeb a tyto segmenty jsou přidělovány jednotlivým službám. Kmitočtové segmenty přiděluje Radiokomunikační řád Mezinárodní telekomunikační unie. Rozdělení segmentů přidělených amatérské vysílací službě v rozsahu krátkých vln je v tabulce 3.1.

Kmitočtové pásmo	
Od [MHz]	Do [MHz]
1,81	2
3,5	3,8
7	7,2
10,1	10,15
14	14,35
18,068	18,168
21	21,450
24,890	24,990
28	29,7

Tabulka 3.1: Kmitočtová pásma

3.2. Anténa LW (Long-Wire)

Anténa je zhotovena z jednoho dlouhého drátu, obvykle měděného, nataženého mezi vysílačem a druhým závěsným bodem. Jelikož je tato anténa připojena přímo k vysílači, nemá samostatný napáječ a vyzařuje signál po celé své délce [1].

Délka antény LW musí odpovídat násobku poloviny základní vlnové délky. S rostoucí délkou se zvyšuje její zisk, ale také narůstá její impedance, při délce např. 5λ činí asi 138Ω . Její výhodou jsou nízké pořizovací náklady, nevýhodou je pak značná délka, zejména při požadování vyššího zisku na nejnižším kmitočtovém pásmu. Doporučuje se umístit anténu v nezastavěné oblasti z důvodu možnosti vzniku TVI. Celková rezonanční délka antény lze pro jednotlivá pásma vypočítat pomocí vzorce [1]:

$$L = \frac{150 \cdot (n - 0,005)}{f} \quad (1)$$

kde:

L – délka antény [m]

n – počet půlvln na délku antény

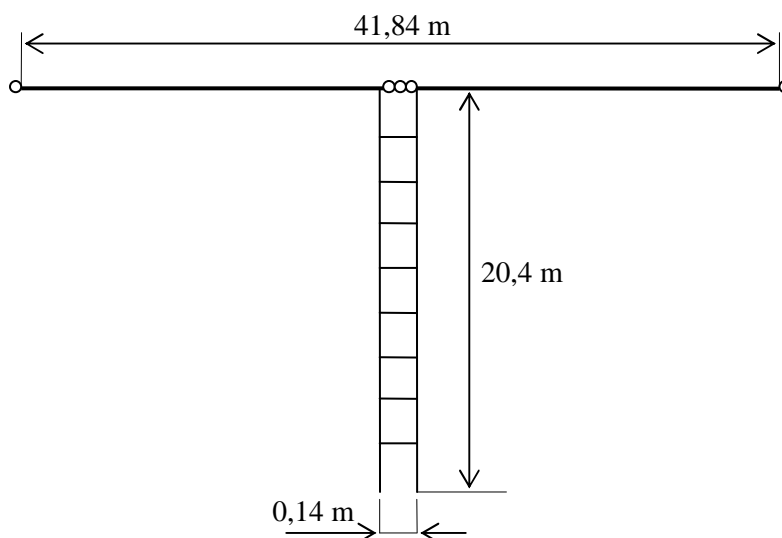
f – rezonanční kmitočet [MHz]

3.3. Anténa dvojitý Zeppelin (Double Zepp)

Dvojitý Zeppelin je osvědčenou vícepásmovou anténou [1]. Je konstrukčně jednoduchá, má nízké pořizovací náklady a dosahuje požadované účinnosti. Jedná se o symetrickou anténu, napájenou dvoudrátovým rezonančním vedením (obr. 3.1) [1]. Hlavní výhodou je jeden společný zářič pro všechna pásma, tudíž není nutno dalších provozních úprav (např. trapované obvody). Dvouvodičové vzdušné vedení (žebříček) je tvořeno rovnoběžnými vodiči, o průměru 2 mm, upevněnými ve vzájemné vzdálenosti izolačními rozpěrkami. Rozpěrky mohou být zhotoveny například z kuprextitu zbaveného měděné fólie.

3 Vícepásmové krátkovlnné antény

Nezbytným doplňkem této antény je přizpůsobovací anténní člen, nazývaný také transmatch nebo ATU (Antenna Tuning Unit). Jeho úkolem je přizpůsobit vstupní impedanci antény k výstupu vysílače.



Obr. 3.1: Anténa Double Zepp

Při návrhu antény se volí délka zářiče tak, aby na nejnižší frekvenci neklesla pod $0,35 \lambda$ a délka žebříčku tak, abychom se impedančně dostali mezi kmitnu a uzel napětí. Například pro pásmo 160 m to znamená délku zářiče 2×27 m a délku žebříčku mezi 20 a 30 m.

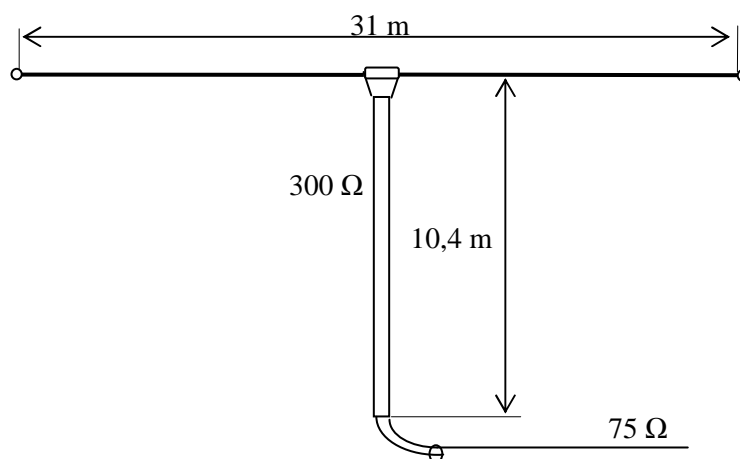
3.4. Anténa G5RV

Anténa G5RV vychází z konstrukce antény typu Double Zepp a je schopna sloužit na všech radioamatérských kv pásmech. Jako laděné transformační vedení se používá symetrický televizní napáječ 300Ω , o délce 10,4 m (obr. 3.2) [1]. Zpravidla bývá na vstupu napáječe impedance cca 75Ω , díky čemuž můžeme použít na napájení koaxiální kabel. Pro přizpůsobení antény v jednotlivých pásmech je potřeba použít ATU na výstupu vysílače.

V původní konstrukci je anténa napájena žebříčkem libovolné délky, který vedl od dipólu až k ATU. Aby se využilo nízké napájecí impedance na 14 MHz, začalo se využívat opakovače impedance (vedení v násobcích $\lambda/2$), díky čemuž se umožnilo přenést vstup dipólu a napojit ho přímo na nízkaimpedanční výstup vysílače. Na vstupu žebříčku jako opakovače

3 Vícepásmové krátkovlnné antény

impedance vykazovala anténa nízkou impedanci i na dalších pásmech, a proto se na nich začala používat. K připojení koaxu na vstup žebříčku vedla potřeba prodloužení napáječe, nedosahoval-li až k vysílači. Takto vznikla podoba antény G5RV (obr. 3.2) [4].



Obr. 3.2: Anténa G5RV

3.5. Anténa W3DZZ

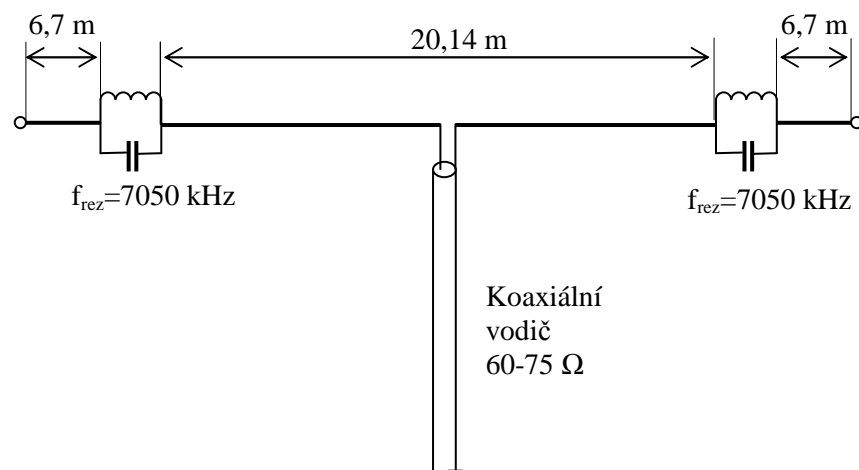
Tato vícepásmová anténa byla sestrojena v padesátých letech v Americe. Jedná se o symetrickou dipólovou anténu s oddělovacími paralelními LC obvody (trapy), které působí jako vysoký odpor na rezonančním kmitočtu. Na nižších kmitočtech působí jako sériová induktivní reaktance. Na kmitočtech vyšších působí jako sériová kapacitní reaktance. Jsou-li oba LC obvody naladěny na kmitočet 7050 kHz (obrázek 3.3), pak je i vnitřní část dipólu naladěna na tento kmitočet, zatímco vnější části dipólu jsou těmito trapy odděleny a na vyzařování antény se nepodílejí [1].

Na vyšších kmitočtových pásmech (20, 15, 10 m) zkracuje sériová reaktance kondenzátorů elektrickou délku dipólu s relativně nízkou vstupní impedancí, která činí cca 120 Ω [1].

Trapy se vyrobí navinutím 19 závitů CuL 2,0 mm na keramickou nebo plastovou trubku o průměru 50 mm a délce 80 mm. Cívka by měla mít indukčnost okolo 8,3 μH a kondenzátor má kapacitu 60 pF/3-5 kV a je uvnitř trubky s vinutím. Po doladění se zajistí trap několika

3 Vícepásmové krátkovlnné antény

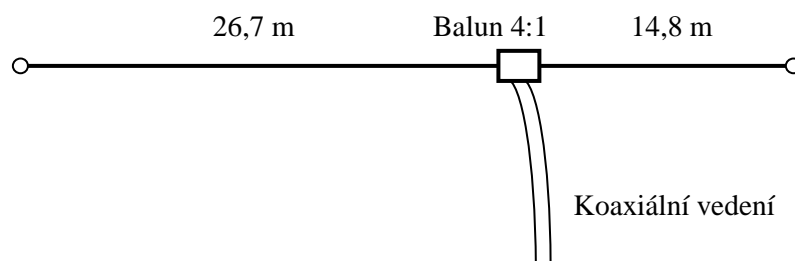
nátěry vodovzdorného laku nebo jiným prostředkem, který zajišťuje ochranu proti nepříznivým klimatickým vlivům [1].



Obr. 3.3: Anténa W3DZZ

3.6. Anténa WINDOM

Tato anténa je nesouměrným vícepásmovým zářičem, při napájení se používá feritový balun, který transformuje impedanci v poměru 4:1 (obrázek 3.4). Balun se připojuje v místě, kde se impedance antény na všech pásmech přibližuje hodnotě cca 300 Ω , čili za balunem lze použít koaxiálního kabelu k napájení antény. Anténa je zhotovena z měděného lanka o průměru 4 mm. Anténa má vyhovovat na všech KV pásmech, musí být však zavěšena alespoň ve výši 15 - 20 m. Osvědčená délka napáječe je 28 m.



Obr. 3.4: Anténa WINDOM

3.7. Čtyřpásmová anténa GP

Anténa GP je vícepásmovou vertikální anténou a její činnost je založena na principu vícepásmové antény W3DZZ. Vertikální samonosný zářič je rozdělen na úseky, mezi které jsou zařazeny paralelní rezonanční LC obvody, které jsou naladěny na středy jednotlivých pásem. Svým vysokým rezonančním odporem pak oddělují aktivní část zářiče od jeho zbývajících nevyzařujících částí. Pro realizaci 4pásmové antény GP se použijí tři trapy. Pro realizaci antény na pásmech (7, 14, 21, 28 MHz) by měla dosahovat výšky 6 m. Pokud má anténa napájecí bod ve výši do 20 cm nad dobrou zemí, nevyžaduje samostatnou protiváhu [1].

Anténa se vyrábí z hliníkových trubek a trapy jsou navinuty na kostrách z izolačních materiálů. Pro podrobnější informace o konstrukci antény odkazují na příslušnou literaturu [1].

3.8. Vícepásmová mobilní anténa KV

Tato anténa je schopna sloužit na všech devíti amatérských krátkovlnných pásmech. I když je její délka pouze cca 2,5 m, je funkční i na nižších KV pásmech. Avšak přechod z jednoho pásma na druhé vyžaduje výměnu cívky. Anténa se může umístit například na střechu nebo nárazník automobilu. Vlastnosti antény:

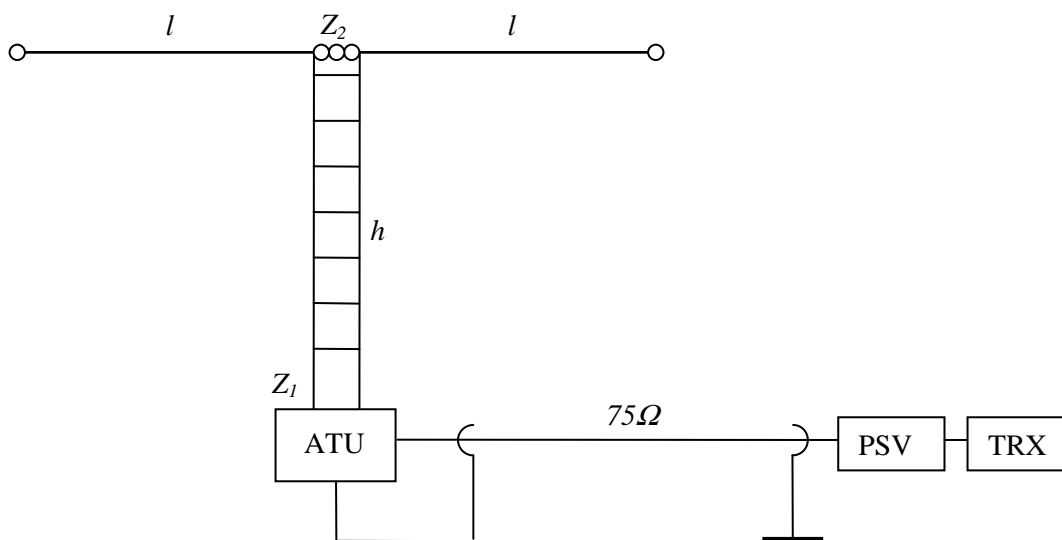
- jednoduchá montáž
- jednoduchá obsluha
- nízká pořizovací cena
- dobré dosahy v každém pásmu
- minimální zásah do karoserie automobilu
- provoz i při rychlosti 100 km/h

Pro podrobnější informace o vlastnostech a konstrukci antény odkazují na příslušnou literaturu [1].

4. Návrh antény pro pět KV pásem používaných v radioamatérském provozu

4.1. Navrhovaný anténní systém

Pro realizaci anténního systému jsem vycházel z principu antény typu Double Zepp, jelikož je osvědčenou vícepásmovou anténou a je konstrukčně jednoduchá. U této antény je použit pro všechna pásma jeden anténní zářič, čili není nutno dalších provozních úprav (např. trapované obvody). Správná funkčnost celé sestavy závisí na volbě vhodných délek l a h , které určují vstupní impedanci celého systému Z_1 . Z_2 představuje vstupní impedanci zářiče. Jedním z prvních kroků při návrhu je zjistit tyto impedance. K těmto výpočtům mi posloužil program MMANAGAL, o kterém se později ještě zmíním. Schéma navrhovaného anténního systému je na obrázku 4.1.



Obr. 4.1: Schéma navrhovaného systému

4.1.1. Anténní napáječ

Jako napáječ je zvoleno symetrické neuzemněné dvou vodičové vedení se vzduchovým dielektrikem (obr. 4.2). Rozpěrky mezi vodiči mohou být zhotoveny např. z kuprextitu, který je zbavený měděné folie. Vzdálenost mezi vodiči musí zůstat po celé délce stejná z důvodu zachování správné funkčnosti. Vlastní impedance napáječe je ovlivněna okolím, proto je velmi důležité nepokládat napáječ přímo na zem pro zachování její hodnoty. Z praxe se považuje za dostačující desetinásobek rozteče dvou vodičů.

Laděný napáječ se podílí jednak na ladění antény, tím, že prodlužuje délku zářiče a navíc plní funkci transformační, která je závislá na délce napáječe. Základní délka napáječe je $\lambda/4$, nebo její celistvý násobek [1]. Délka napáječe je označena písmenem h na obrázku 4.1. Výhoda anténního napáječe je v tom, že prodlužuje délku zářiče, díky čemuž jsou kladeny menší požadavky na prostorové možnosti.

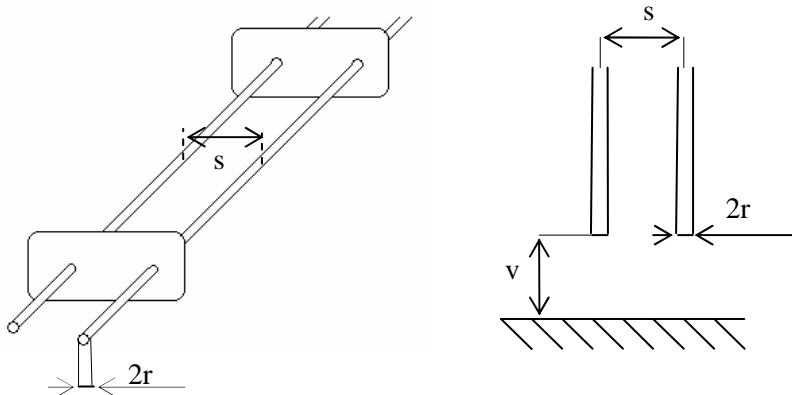
Pro charakteristickou impedanci takového vedení platí vztah:

$$Z_0 = 276 \cdot \log \frac{s}{r} \quad (2)$$

kde:

s – rozteč vodičů [m]

r – poloměr vodiče [m]



Obr. 4.2: Anténní napáječ

4.1.2. ATU (Antenna Tuning Unit)

Prizpůsobovací anténní člen, také běžně nazývaný ATU nebo transmatch, je nezbytným doplňkem této antény. Je schopen na každém pásmu přizpůsobit vstupní impedanci v rozsahu $25\ \Omega$ až $250\ \Omega$ k výstupu vysílače. Je třeba se zmínit, že existují i takové ATU, které jsou schopné přizpůsobit jakoukoliv impedanci na vstupu i na výstupu členu. Já budu volit kombinaci délky ramene zářiče l a délky anténního napáječe h tak, abychom jsme se s hodnotami vstupní impedance sestavy trefili do požadovaného rozsahu. Anténní přizpůsobovací člen také slouží k symetrizaci a k odstranění imaginárních složek vstupních komplexních impedancí.

Součástí ATU může být i symetrizační člen, neboli balun, s transformačním poměrem 1:1, což zabezpečí symetrické vyzařování a umožní připojení koaxiálního kabelu. Balun se nejčastěji používá na eliminaci plášťových proudů protékajících koaxiálním kabelem vedoucím k anténě [5]. Jelikož po připojení symetrického zářiče na koaxiální kabel, který je nesymetrickým vedením vznikají plášťové proudy. Povrch koaxiálního kabelu funguje zčásti jako anténa, jelikož přijímá i vyzařuje rušení a část energie se ztrácí [5]. A to je důvod, proč se v místě propojení mezi symetrickým a nesymetrickým vedením zařazuje nějaké symetrizační zařízení.

4.2. Numerický výpočet konkrétní antény

Cílem je, aby anténa pracovala na pěti amatérských pásmech. A to na frekvencích: 3,5 MHz, 7,05 MHz, 14,05 MHz, 24,9 MHz, 28,2 MHz. I když rozměry antény Zepp nejsou přesně dány, existují pravidla, která by se měla dodržovat. Délka zářiče se volí tak, aby na nejnižší frekvenci neklesla pod $0,35 \lambda$, a základní délkou napáječe je $\lambda/4$ nebo její celistvý násobek. Písmeno λ zde představuje délku vlny na jednotlivém pásmu a vypočítá se podle vzorce (3).

$$\lambda = \frac{C}{f} \quad (3)$$

kde:

λ – délka vlny [m]

C – rychlost světla [m/sec]

f – kmitočet [Hz]

Délku jednoho ramene zářiče jsem zvolil $0,25 \lambda$, což odpovídá délce $l = 21,11$ m. Délku napáječe jsem zvolil také $0,25 \lambda$, tedy $h = 21,11$ m. Tyto hodnoty stačily na to, abych byl schopen navrhnout model antény v programu MMANA-GAL. V programu je pak třeba zadat kmitočet a podmínky pro analýzu antény, jako jsou výška nad zemí, materiál a průměr vodičů antény, umístění zdroje a podobně. Následným zpracováním metodou momentů, což znamená, že se anténní prvek rozdělí na několik segmentů, program pak spočítá vlastnosti a chování jednotlivých segmentů a poté vliv ostatních segmentů na počítaný segment, a superpozicí se získají výsledné vlastnosti prvků. Výsledné hodnoty konkrétní antény po analýze v programu MMANA-GAL jsou uvedeny v tabulce 4.1.

4 Návrh antény pro pět KV pásem používaných v radioamatérském provozu

	f [MHz]	R [Ω]	jX [Ω]	PSV 75	Ga [dBi]	F/B [dB]	Elev. [°]
1	3,55	1423	-477,8	21,1	6,0	–	55,8
2	7,05	5646	2028	85,0	9,54	–	25,8
3	14,05	3625	988,2	51,9	9,24	-30,48	13,0
4	24,9	721	-351,7	11,9	11,17	-6,92	7,4
5	28,2	2968	653,3	41,5	11,19	-34,46	6,6

Tabulka 4.1: Vypočtené hodnoty programem MMANA

Z výsledných hodnot, uvedených v tabulce 4.1, lze vyčíst, že rozměry antény nám nebudou vyhovovat. Složky komplexní impedance, v tabulce sloupce R a jX, jsou příliš velké a stejně tak i poměr stojatých vln. PSV vyjadřuje míru přizpůsobení antény k vysílači a napájecí a hodnoty PSV, které nám vykazuje tato anténa jsou nepřijatelné, což může vést až ke zničení vysílače. Firmy, které vyrábí vysílací zařízení považují jako uspokojivou hodnotu $PSV = 3$, což však odpovídá přibližně 25 % odraženého výkonu [1]. Já jsem hledal takové hodnoty, kde je maximální $PSV = 2,5$.

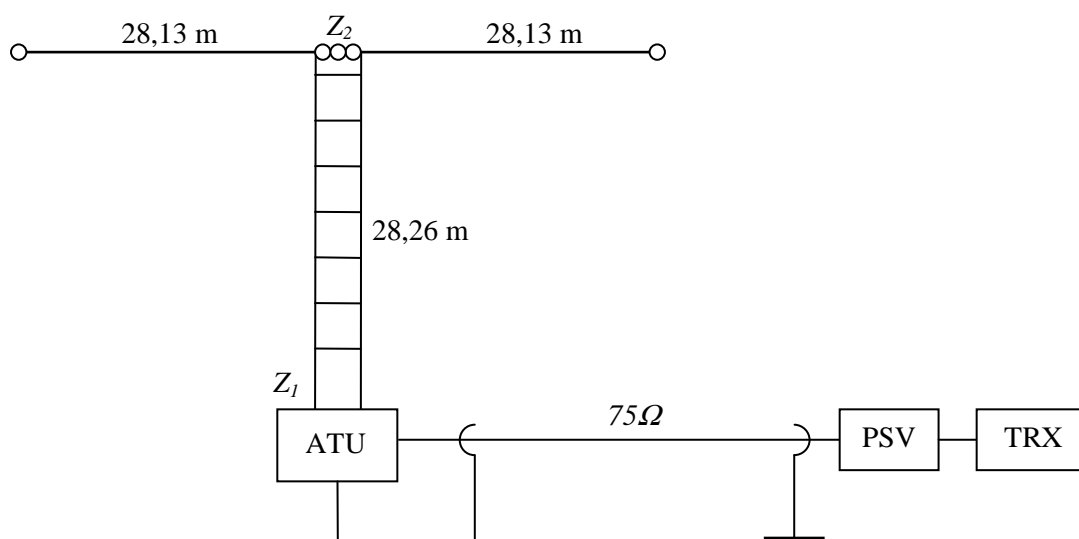
V programu MMANA-GAL jsem využil funkci optimalizaci antény, kde se po zadání vstupních hodnot program pokouší přes složité výpočty optimalizovat parametry antény na každém zadaném pásmu. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.2.

	f [MHz]	R [Ω]	jX [Ω]	PSV 75	Ga [dBi]	F/B [dB]	Elev. [°]
1	3,55	66,63	-30,02	1,55	6,86	–	34,0
2	7,05	37,2	-4,80	2,03	9,29	–	16,9
3	14,05	82,25	-20,17	1,31	10,52	-3,64	8,6
4	24,9	92,68	71,73	2,36	12,01	-5,12	4,9
5	28,2	59,47	-12,15	1,34	11,45	-3,37	4,3

Tabulka 4.2: Výsledné hodnoty po optimalizaci antény

4 Návrh antény pro pět KV pásem používaných v radioamatérském provozu

Hodnoty uvedené v tabulce 4.2 jsou již mnohem přijatelnější. Složky komplexní impedance se výrazně snížily, stejně i tak hodnota PSV na každém pásmu není vyšší než 2,5. Což můžeme považovat za dostačující. Navrhovaný anténní systém dostal tedy nové rozměry, které jsou uvedeny na obrázku 4.3.



Obr. 4.3: Schéma navrhovaného systému s rozměry

Po optimalizaci v programu MMANA - GAL se změnilly rozměry anténního systému. A to tak, že délka ramen zářiče a délka napáječe se zvětšila přibližně o 7 m. Rozteč dvou vodičů u napáječe je 0,045 m a výška umístění nad zemí je 6,8 m. Charakteristická impedance žebříčku se vypočítá podle vzorce (2) a její výsledná hodnota je přibližně $Z_{0z} = 450 \Omega$.

Do tabulky 4.3 jsem uvedl hodnoty složek vstupní impedance pro všechna pásma.

f = 3,5 MHz		f = 7,05 MHz		f = 14,05 MHz		f = 24,9 MHz		f = 28,2 MHz	
R [Ω]	jX [Ω]	R [Ω]	jX [Ω]	R [Ω]	jX [Ω]	R [Ω]	jX [Ω]	R [Ω]	jX [Ω]
66,63	-30,02	37,2	-4,802	82,25	-20,17	92,68	71,73	59,47	-12,15

Tabulka 4.3: Hodnoty složek vstupní impedance

4 Návrh antény pro pět KV pásem používaných v radioamatérském provozu

Na pásmech 3,5 MHz, 7,05 MHz, 14,05 MHz a 28,2 MHz vykazují vstupní reaktance kapacitní charakter. K jejich vykompenzování se může použít cívka se stejnou hodnotou reaktance. U pásma 24,9 MHz je třeba induktivní charakter vykompenzovat kondenzátorem se stejnou hodnotou reaktance. Výpočet kompenzačních prvků se provede dle vzorce (4) a (5).

$$L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f} \quad (4)$$

kde:

L – indukčnost cívky [H]

X_L – reaktance cívky [Ω]

f – frekvence [Hz]

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_C} \quad (5)$$

kde:

C – kapacita kondenzátoru [F]

f – frekvence [Hz]

X_C – reaktance kondenzátoru [Ω]

Po dohodě s vedoucím práce zde nebude výpočet jednotlivých kompenzačních prvků uvádět. Poukazuji jen na způsob, pomocí kterého by bylo možno pokračovat. Z vypočítaných hodnot lze sestavit přizpůsobovací člen, který zajistí vykompenzování vstupní reaktance anténního systému. Je výhodnější volit prvky s možností doladění. Anténní přizpůsobovací člen je nutné doplnit balunem s poměrem 1:1.

5. Závěr

K rozvoji problematiky z oblasti širokopásmových krátkovlnných antén nejvíce přispívají radioamatéři, mezi kterými je velké množství odborníků, zabývajících se šířením vln nebo konstrukcí antén. I když se mnoho publikací nezabývá potřebnými informacemi, týkajících se hlavně realizací antén, díky časopisům, do kterých radioamatéři přispívají svými praktickými zkušenostmi, můžeme získat cenné informace.

Cílem mé bakalářské práce bylo navrhnout anténu pro 5 kv pásem používaných v radioamatérském provozu.

V úvodní části popisují druhy vln a charakteristiku jejich šíření, rozdělení antén, vlastnosti ionosféry a charakteristiku jejích vrstev.

Další části obsahují řešerši literatury z oblasti vícepásmových KV antén, rozdělení radioamatérských pásem a základní typy vícepásmových KV antén.

Poslední část se zabývá návrhem anténního systému. Při návrhu jsem vycházel z teoretických poznatků sepsaných radioamatéry. Navrhovaný anténní systém vychází z principu antény Double Zepp, jelikož je zde použit jeden anténní zářič pro všechna pásma a tudíž jsou kladeny menší požadavky na prostorové možnosti. I přesto dosahuje anténa velkých rozměrů, a proto se nehodí do všech prostor.

Z vyzařovacích diagramů, které jsou uloženy v Příloze II, můžeme vidět, jak se vzrůstající frekvencí přibývá počet laloků. Hlavní laloky se postupně vytvářely ve směru drátu antény. Vyzařování v horizontální rovině je postupně utlumováno a největšího zisku se dosahuje pod jinými úhly. S rostoucí frekvencí přibývala také místa, kde se vyzařování anulovalo, kvůli čemuž je anténa schopná přijímat jen z určitých směrů. Také směrovost antény se postupně snižovala a proto se největšího vyzařovacího úhlu dosáhlo na frekvenci 3,5 MHz, viz. Příloha II.

Model antény jsem vytvořil v programu MMANA-GAL, který jsem vložil na CD i s namodelovanou anténou. Program MMANA-GAL je velmi praktický program, který zvládne namodelovat různé druhy antén. Je vhodný i pro úplného začátečníka, který by se chtěl věnovat více anténám. Popis pracovního prostředí programu jsem uvedl v Příloze I.

Seznam použitých zdrojů

- [1] MATUSZCZYK, J: *ANTÉNY prakticky*. 2. české vydání. Praha : BEN, 2003. 240 s. ISBN 80-7300-109-8, ISBN 83-7300-109-8.
- [2] IKRÉNYI, I.: *Amatérské krátkovlnné antény*. 2. doplnené vydanie. Bratislava : ALFA, 1972. 460 s.
- [3] PROKOP, J., VOKURKA, J: *Šíření elektromagnetických vln a antény*. Praha: SNTL, ALFA, 1980. 388 s.
- [4] MÜLLER, D: *Návrh vícepásmové horizontální krátkovlnné antény*. [s.l.], 2001. 61 s. Diplomová práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Fakulta elektrotechniky a informatiky. URL <<http://hdl.handle.net/10084/44237>>. DP 200208757.
- [5] OK2TAR, V: *Proudový balun* [online]. 2009 [cit. 2010-05-04]. Proudový balun. URL <<http://expedicebilytesak.sweb.cz/technika/anteny/proudovy-balun.htm>>.
- [6] IVÁNEK, L.: *Elektromagnetismus – učební text*, Ediční středisko VŠB – TUO, v rámci operačního programu Rozvoj lidských zdrojů spolufinancováno z prostředků ESF a státního rozpočtu ČR, 2007, ISBN 978-80-248-1486-5.
- [7] IVÁNEK, L.: *Šíření elektromagnetických vln*, Sylabus přednášek, VŠB-TU Ostrava URL <http://fei1.vsb.cz/kat420/index_stary.html>.
- [8] WIKIPEDIA: *the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, 14. listopadu 2002, 7. března 2010 [cit. 2010-05-06]. URL <http://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavn%C3%AD_strana>.

Seznam použitých příloh

Příloha I: Pracovní prostředí programu MMANA-GAL

Příloha II: Vyzařovací diagramy

Příloha III: Vytvořený model navrhované antény s programem MMANA-GAL

Příloha III je uložena na přiloženém CD. Obsahuje soubor uložený v programu MMANA, zahrnující navrhnuté parametry modelované antény. Součástí je i samotný program, ve kterém probíhal kompletní návrh antény. Příloha je umístěna v adresáři /Přílohy/.

Příloha I

Pracovní prostředí programu MMANA-GAL

Program MMANA je napsán japonským radioamatérem Makoto Morim a je šířen jako freeware. Prostředí programu MMANA je rozděleno na čtyři pracovní plochy. Vytvořené modely se ukládají s příponou .maa.

Pracovní plocha Geometry

Tato plocha obsahuje tabulku umožňující sestavení modelu antény. Základním způsobem sestavení modelu antény je zadání souřadnic anténních vodičů do tabulky Wire. Potvrzení hodnoty se provede klávesou Enter. Dále zadáme průměr vodiče a počet segmentů. Při odškrtnuté volbě lambda se hodnoty souřadnic zobrazí v metrech.

Následující obrázky se zobrazenými pracovními plochami jsou uvedeny s hodnotami namodelované antény.

The screenshot shows the MMANA-GAL Geometry window. At the top, there is a menu bar (File, Edit, Service, Tools, Help) and a toolbar. Below the toolbar, there are tabs for 'Geometry', 'View', 'Calculate', and 'Far field plots'. The 'Geometry' tab is active. The window contains several input fields and two tables.

Input fields include: Name (3.5, 7.05, 14.05, 24.9, 28.2), Freq (3.550 MHz), Wires (5), Auto segmentation (DM1 800, DM2 80, SC 2.0, EC 1), and a checkbox for 'Keep connect.'.

The first table, 'Wires', has columns: No., X1(m), Y1(m), Z1(m), X2(m), Y2(m), Z2(m), R(mm), and Seg. It contains 5 rows of data.

No.	X1(m)	Y1(m)	Z1(m)	X2(m)	Y2(m)	Z2(m)	R(mm)	Seg.
1	0.0	-28.15	30.055	0.0	-0.0225	30.055	1.0	-1
2	0.0	28.15	30.055	0.0	0.0225	30.055	1.0	-1
3	0.0	-0.0225	1.8	0.0	-0.0225	30.055	2.0	-1
4	0.0	0.0225	1.8	0.0	0.0225	30.055	2.0	-1
5	0.0	-0.0225	1.8	0.0	0.0225	1.8	1.0	-1

Below the table is a 'next' button. At the bottom, there are two sections: 'Sources 1' and 'Loads 0'. The 'Sources 1' section has a checkbox for 'Auto Voltage' and a table with columns: No., PULSE, Phase dg, and Volt. V. The 'Loads 0' section has a checkbox for 'Use loads' and a table with columns: No., PULSE, Type, L(uH), C(pF), Q, and F(MHz). Both tables have a 'next' button below them.

Obr. I.I: Pracovní plocha Geometry

Model antény je tvořen vodiči, které odpovídají jednotlivým prvkům antény. Kruhové typy antén, jako např. magnetické smyčky, je nutno zadávat pomocí vzájemně propojených

vodičů ve tvaru mnohoúhelníku. Každý vodič je rozdělen na segmenty, čím větší počet segmentů, tím je korektnost výpočtu přesnější, avšak na úkor doby výpočtu. Při volbě počtu segmentů dodržujeme následující pravidla:

- Na jednu půlvlnu musí mít vodič 9 segmentů
- Zadáním celého kladného čísla se vodič rozdělí na stejně dlouhé segmenty. Jejich počet odpovídá právě zadanému číslu
- Při zadání hodnoty 0 se vodič rozdělí automaticky tak, že délka segmentu se rovná hodnotě $1/DM2$ vynásobené vlnovou délkou
- Při zadání záporné hodnoty se použije tapering

Tapering rozdělí vodič na různě dlouhé segmenty. Tato metoda je závislá na výskytu uzlů a kmiten na proudovém obložení antény. Výhodou je úspora času numerických výpočtů. Při taperingu se zadávají tyto hodnoty:

- -1 – délka segmentů se pohybuje od $1/DM1 \cdot \lambda$ do $1/DM2 \cdot \lambda$
- -2 – tapering se použije pouze na počáteční bod
- -3 – tapering se použije pouze na koncový bod

Do kolonky SC se zadává hodnota v intervalu $1 < SC \leq 3$. Jedná se o násobič, který udává počet vytvářených segmentů. Nejčastěji však bývá nastaven na hodnotu 2.

V kolonce EC je parametr udávající číslování segmentů. Nejčastěji bývá nastaven na hodnotu 1.

Tabulka Sources slouží k umístění zdroje antény. V prvním sloupci tabulky, Pulse, se zadává hodnota umístění zdroje. Při segmentaci celým kladným číslem se do sloupce Pulse napíše číslo segmentu, ve kterém má být zdroj umístěn. Lze také použít zjednodušený zápis ve tvaru:

w<číslo vodiče><parametr>(<počet segmentů>)

Jako parametr se volí:

- C – umístění zdroje do středu vodiče
- B – umístění zdroje na začátek vodiče
- E – umístění zdroje na konec vodiče

Například pro umístění zdroje na začátek vodiče 1 bude zapsáno: w1b

nebo pro umístění zdroje tři segmenty před koncem vodiče bude zapsáno: w1e3

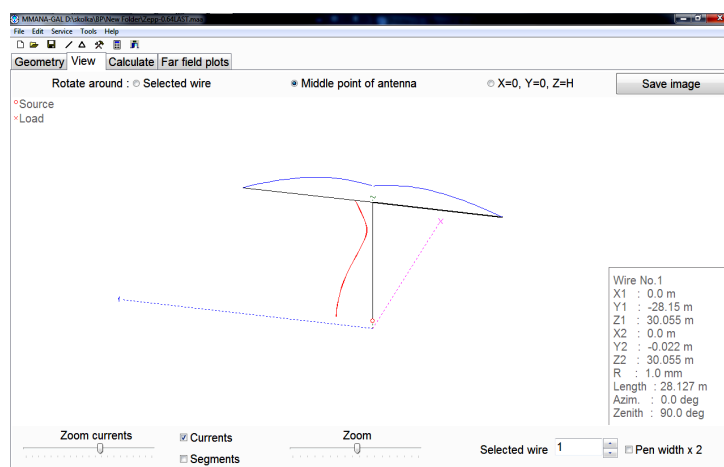
Ve sloupci Phase se zadává fáze zdroje ve stupních. Používá se u antén využívajících fázové zpoždění.

Napětí Voltage je většinou nastaveno na hodnotu 1. Závisí na ní pouze velikost proudu zobrazeného při proudovém obložení antény.

Tabulka Load nabízí možnost vložení rezonančního článku LC, komplexní impedanci $R + jX$ nebo vodivost S do modelu antény. Tohle lze uplatnit např. při modelování antén s trapy nebo se zakončovacími odpory. Zvolený článek lze zvolit po stisknutí klávesy Enter v poli Type.

Pracovní plocha View

V této ploše se zobrazuje schéma namodelované antény. Anténa je zobrazena v kartézské soustavě. Model lze libovolně otáčet a přibližovat. Po výpočtu lze pomocí Zoom currents zvětšovat proudovou distribuci zobrazenou na anténě.

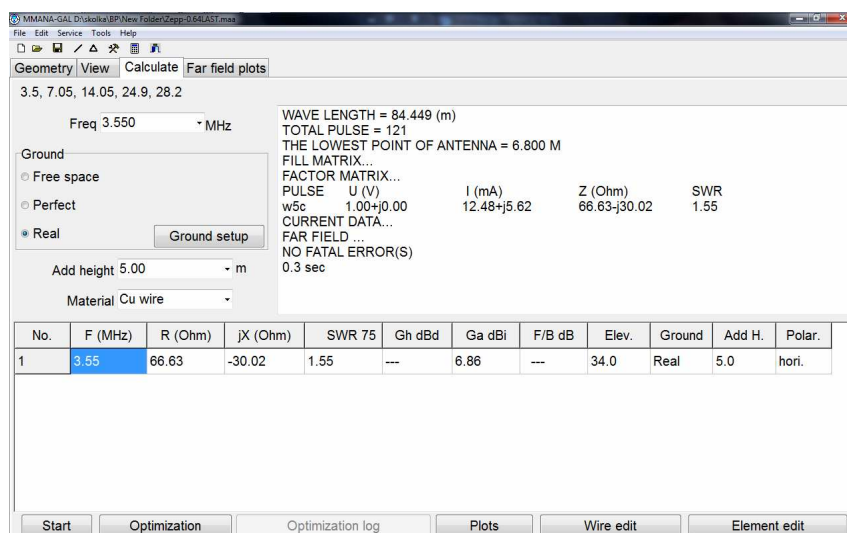


Obr. I.II: Pracovní plocha View

Pracovní plocha Calculate

Zde se provádí výpočet, před kterým je nutno zadat frekvenci, nastavit vlastnosti země, povrch a materiál vodiče a také výšku antény nad zemí.

V levé dolní části obrazovky lze využít funkci tlačítka Optimization, což umožňuje dosáhnout požadovaných parametrů modelované antény. Pomocí této optimalizace můžeme dosáhnout např. snížení imaginární složky vstupní impedance, snížení poměru PSV, zvýšení zisku antény, nalezení vhodného úhlu maximálního vyzařování atd.

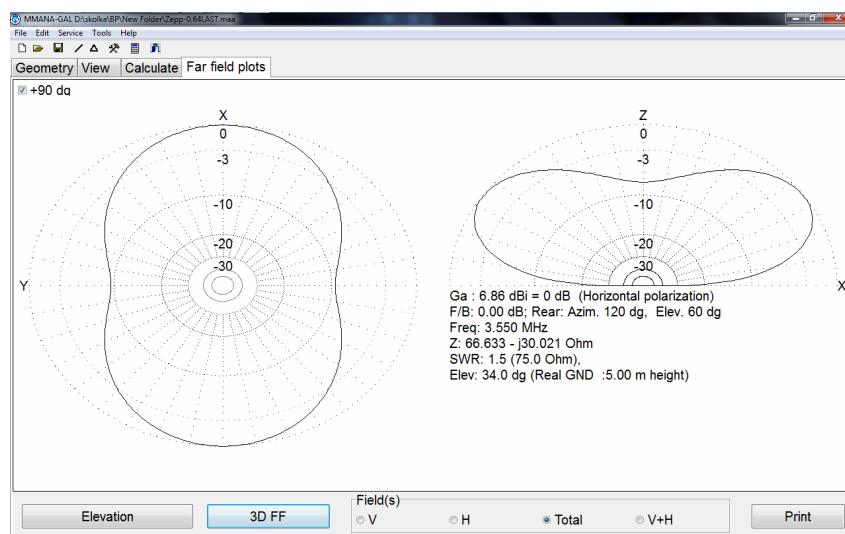


Obr. I.III: Pracovní plocha Calculate

Pracovní plocha Far field plots

Zde je zobrazena vykreslená charakteristika antény. V pravé části obrazovky je diagram záření v horizontální rovině a v levé části diagram ve vertikální rovině.

V dolní části obrazovky je možné v okně Field zvolit polarizaci elektrické složky pole v anténě. Horizontální diagram záření je zobrazen pro maximum vyzařování ve vertikální rovině. Tento úhel je možné měnit tlačítkem Elevation umístěným v levém dolním rohu. Tlačítkem 3D FF lze zobrazit vykreslenou charakteristiku antény ve 3D modelu.



Obr. I.IV: Pracovní plocha Far field plots

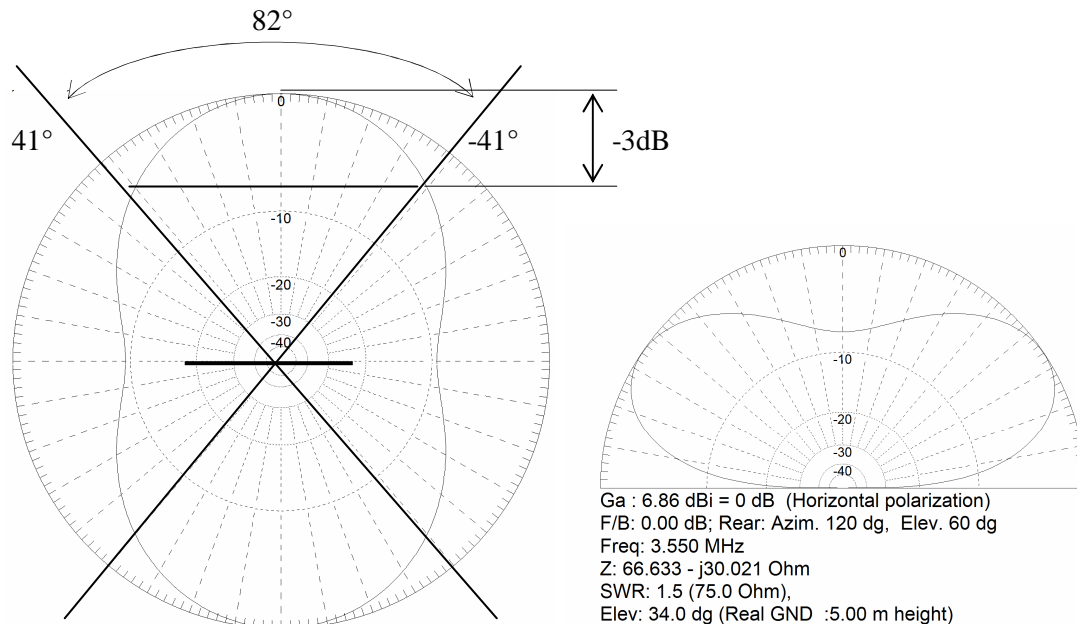
Příloha II

Vyzařovací diagramy

Vyzařovací diagramy znázorňují množství vyzářené energie v různých směrech od antény. K jeho vytvoření je třeba změřit intenzitu pole antény v okruhu 360° v místech stejně vzdálených od antény. Vyzařovací charakteristika antény je ovlivněna délkou zářiče, ale také vlastnostmi půdy, nad kterou je postavena. Čili stejná anténa se bude chovat odlišně, pokud ji umístíme nad zemí s jinými vlastnostmi.

U diagramu nás nejvíce zajímá hlavní lalok, který udává, v jakém směru má anténa nejvyšší zisk. Následující obrázky ukazují, jak se vyzařovací charakteristika antény mění v závislosti na zvětšující se frekvenci.

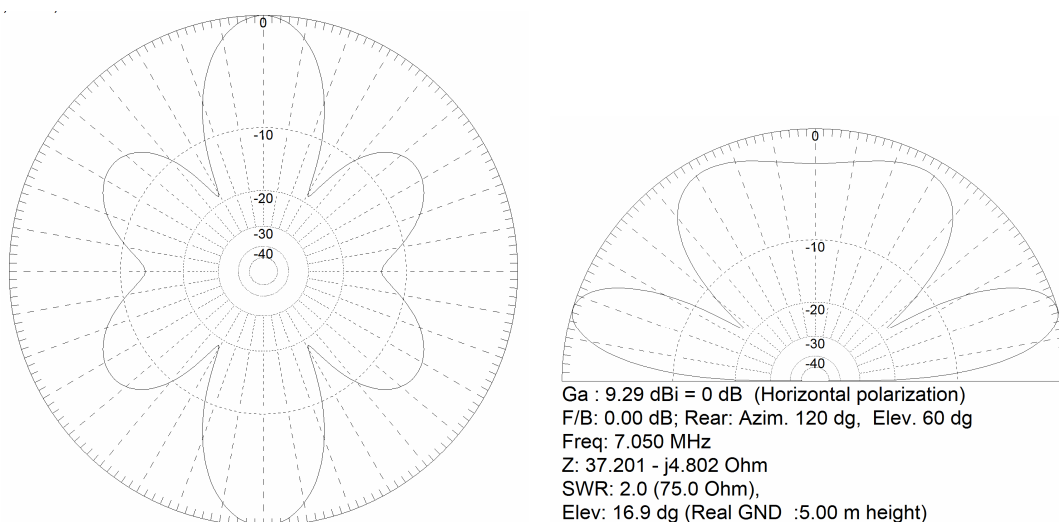
f = 3,5 MHz



Obr. II.I: Vyzařovací charakteristika pro f = 3,5 MHz

Na obrázku II.I lze vidět, že nejsilněji anténa vyzařuje kolmo na anténu ve směru $\varphi = 90^\circ$ a že ve směru drátu je mírně utlumena. Pro zjištění směrovosti antény je třeba provést pokles o -3 dB. V programu MMANA-GAL lze na pracovní ploše Far field plots využít možnosti tažení jezdcem po vykreslené charakteristice a odečíst tak pokles o -3 dB a zároveň úhel vyzařování. Znázorněno na obrázku II.I. Výsledkem je zjištění velikosti vyzařovacího úhlu, což je v tomto případě $\varphi_v = 82^\circ$.

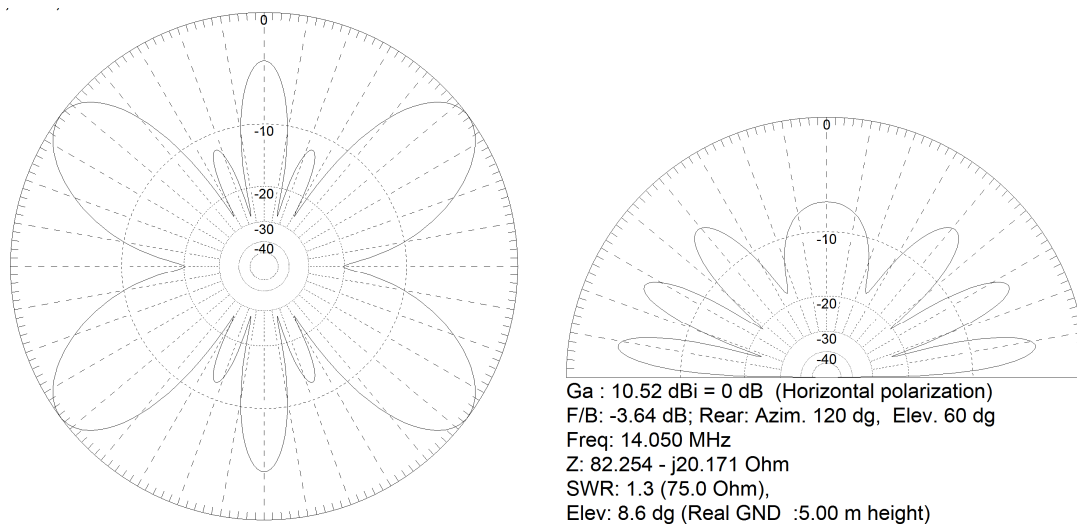
f = 7,05 MHz



Obr. II.II: Vyzařovací charakteristika pro f = 7,05 MHz

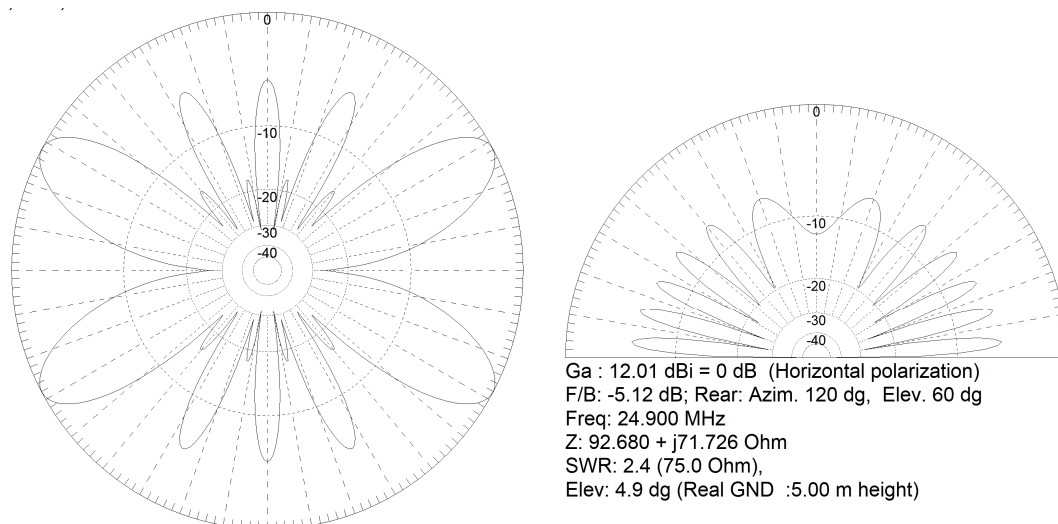
Po zvýšení frekvence na 7,05 MHz můžeme na obrázku II.II vidět, že vyzařování v horizontální rovině kolmo na drát nepokleslo, ale došlo k vytvoření dalšího laloku pod úhlem 56° . Po odečtení poklesu o -3 dB je velikost vyzařovacího úhlu rovna $\varphi_v = 30^\circ$.

f = 14,05 MHz



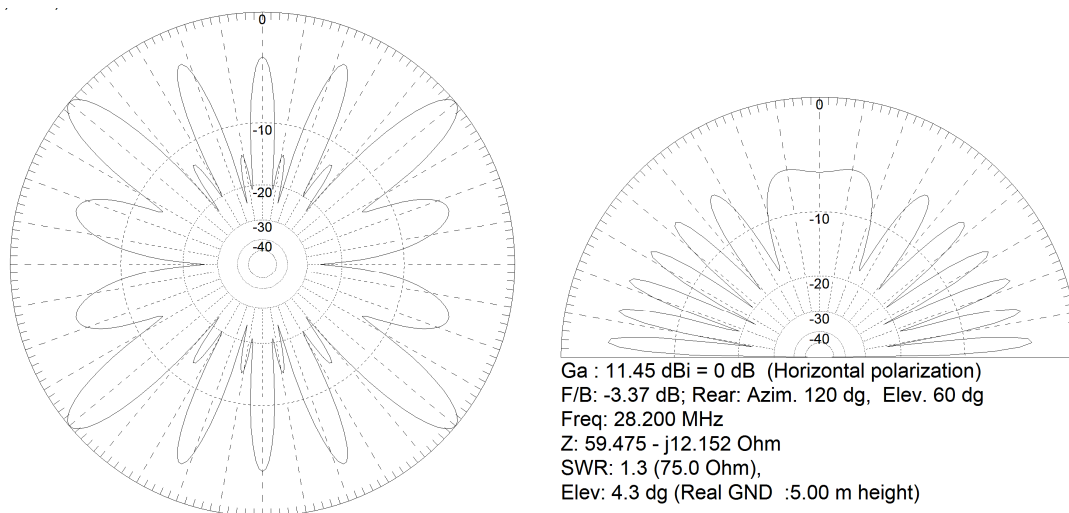
Obr. II.III: Vyzařovací charakteristika pro f = 14,05 MHz

f = 24,9 MHz



Obr. II.IV: Vyzařovací charakteristika pro f = 24,9 MHz

f = 28,2 MHz



Obr. II.V: Vyzařovací charakteristika pro f = 28,2 MHz

Na zbývajících diagramech (obrázek II.III až obrázek II.V) můžeme vidět, jak dochází k vytvoření dalších laloků se zvětšující se frekvencí. Vyzařování v horizontální rovině je postupně utlumováno a nejvíce energie se začíná vyzařovat pod jinými úhly. S rostoucí frekvencí se hlavní laloky začaly vytvářet ve směru drátu antény. Například na frekvenci 14,05 MHz, obrázek II.III, se vytvořil hlavní lalok pod úhlem $\varphi = 54^\circ$ směrem k anténě, zatímco pod úhlem $\varphi = 15^\circ$ se vyzařování anulovalo. Také vyzařovací úhel se zmenšil na $\varphi_v = 25^\circ$.

Totéž platí i pro ostatní frekvence. S rostoucí frekvencí přibývalo laloků a bohužel i míst, kde se vyzařování anulovalo. Což přináší tu nevýhodu, že v těchto směrech nebudeme schopni anténou přijímat. I vyzařovací úhel se zmenšil a to na $\varphi_v = 19^\circ$ na frekvenci 24,9 MHz kdežto na frekvenci 28,2 MHz se zmenšil na $\varphi_v = 11^\circ$.